

# IRRADIACION DE LODOS RESIDUALES Y SU USO EN EL CULTIVO DE AVENA

Moreno A.J.<sup>1</sup>, Colín C.A.<sup>2</sup>, Gomeztagle M. M.<sup>2</sup> y Frías P.H.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Estudios del Ambiente, Gerencia de Ciencias Ambientales.

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.

Apartado Postal 18-1027, Colonia Escandón, México, D. F., C.P. 11801 México.

<sup>2</sup>Facultad de Química. Universidad Autónoma del Estado de México.



MX0100321

## RESUMEN

La irradiación de muestras de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales, a dosis de radiación gamma de 15 kGy remueve del lodo, en promedio: grasas y aceites (33%), detergentes (92 %), fenoles (50 %) y más del 99 % de la cuenta total de microorganismos.

La evaluación del lodo residual irradiado y sin irradiar como acondicionador de suelos en el cultivo de avena (avena sativa), se realizó por triplicado utilizando diferentes proporciones (80, 60, 40 y 20 %) de suelo franco arenoso y lodo residual irradiado y sin irradiar. El cultivo con las proporciones 60/40 % de suelo y lodo irradiado respectivamente, resultó ser el más adecuado como acondicionador de suelos. Resulta importante aclarar que para aplicar el lodo residual, es necesario que la concentración de metales no sobrepase los límites máximos permisibles para el tipo de suelo y el cultivo correspondiente.

## INTRODUCCION.

Cualquiera que sea el tipo de planta de tratamiento de aguas residuales genera como subproducto lodos que incluyen en su composición, además, de una gran variedad de microorganismos patógenos y no patógenos, compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, entre ellos algunos nutrientes que pueden ser útiles en el crecimiento de las plantas como: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Azufre.

Generalmente los lodos son incinerados o se disponen como relleno sanitario sin una especificación en cuanto al contenido de microorganismos patógenos y compuestos o elementos tóxicos químicos, por lo que la contaminación cambia del agua, al aire y al suelo finalmente.

Tomando como base las políticas ambientales actuales en todo el mundo, de incrementar los diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales, se vislumbra que, la generación de lodos irá en aumento, siendo un peligro potencial para el ecosistema; por lo que surge la necesidad de someter éste material a un proceso adecuado y lograr además que pueda tener alguna utilidad.

Por su base orgánica, el lodo residual a diferencia de los fertilizantes químicos ofrece la posibilidad de mejorar los suelos a largo plazo; resulta también interesante su aplicación en siembras de arbustos, flores y en céspedes nuevos o ya sembrados.

El presente trabajo, tiene como objetivo utilizando radiación gamma, remover compuestos orgánicos tóxicos como: fenoles, detergentes, grasas y aceites y los microorganismos patógenos de los lodos residuales hasta concentraciones menores a las mencionadas en las Normas Oficiales Mexicanas; NOM-CRP-001-ECOL\1993 y NOM-002-ECOL-1996; asimismo, evaluar la calidad del lodo tratado (por irradiación) en el cultivo de avena (avena sativa). La avena se puede cultivar en una gran variedad de condiciones y tipos de suelos. Sin embargo, para obtener una buena cosecha, es necesario que el suelo tenga una estructura granular que permita la aireación y el movimiento del agua, que no permita la formación de costras que dificultan la aireación y la germinación, tenga suficiente materia orgánica y finalmente tenga un pH en el intervalo de 5 a 7 unidades.

Con base en la estructura general del suelo franco arenoso; arena 60 %, limo 25 % y arcilla 15 %; se supone que el tamaño del granulo del mismo, está en el intervalo de 0.002 y 0.5 Å y que éste tipo de suelo favorece la aireación y germinación de la semilla de avena, sin embargo, su capacidad de almacenar nutrientes y de retener el agua son muy bajas. Es importante mencionar que estas deficiencias, pueden ser mejoradas con la adición de materia orgánica presente en el lodo residual.

### MUESTREO.

El muestreo del suelo (franco arenoso), se realizó utilizando el método de zigzag de Rodríguez y Burguete (1987), método recomendado ampliamente, por considerar los gradientes de fertilidad del suelo. El muestreo consistió en trazar una línea en zigzag de tal forma que se cubrió la superficie del terreno de manera homogénea. Las excavaciones se hicieron en forma de pirámide invertida a una profundidad de 30 x 30 x 40 cm. El suelo muestreado, fue puesto en bolsas de plástico y trasladado al laboratorio para su caracterización fisicoquímica y biológica.

Bajo estas consideraciones, se colectaron 50 muestras de 2 kg cada una para formar una muestra compuesta de 100 kg. El muestreo se realizó en un terreno de 2 hectáreas de extensión ubicado en el Municipio de Lerma, en el Estado de México.

De acuerdo con el método aceptado por la Environmental Protection Agency (EPA) y descrito por Telliard (1988); se colectaron en contenedores de plástico de 37 cm de altura por 27 cm de ancho, 4 muestras puntuales de 40 L de lodo residual en la Empresa para la Prevención y Control de la Calidad del Agua (EPCCA), quien opera una planta de tratamiento de aguas residuales en Lerma. Las muestras se dividieron en 2 grupos, uno para ser irradiado a dosis de 15 kGy con gammas de cobalto-60 y el otro para ser usado como referencia.

### TECNICAS ANALITICAS.

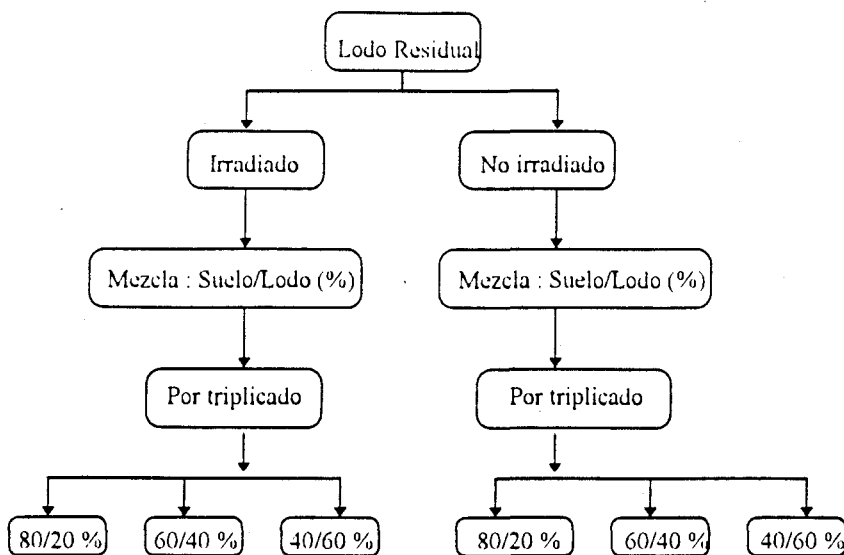
La determinación del pH se realizó con H<sub>2</sub>O, CaCl<sub>2</sub> 0.01M y KCl 1 M siguiendo el procedimiento de Goijberg (1987). La materia orgánica y carbono orgánico, se determinaron siguiendo el procedimiento de León (1987). El análisis de Nitrógeno total, se realizó mediante el procedimiento del Macro-Kjeldahl descrito por Etchevers (1987). El contenido de Fósforo, se realizó de acuerdo al método de Olsen y colaboradores descrito por Cajuste (1987). Los sólidos totales, las grasas y aceites, fenoles, detergentes, y el recuento en placas del número más probable de microorganismos mesófilos aeróbios, fueron cuantificados por los métodos 2540B, 5520E, 5530C, 5540C y 9215A respectivamente, publicados por la American Public Health Association (1992).

### IRRADIACION.

La irradiación del lodo, se realizó en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares en el irradiador gamma industrial, modelo JS-6500, con una actividad de 460,337 Ci ( $170.3 \times 10^4$  Bq). La dosis de radiación absorbida por el lodo, se determinó colocando dentro del contenedor de la muestra, 9 dosímetros de perpex rojo 4034 Lote C distribuidos en posiciones representativas del volumen total del lodo. El contenedor, se colocó un recipiente de Aluminio de 88 cm de altura x 44 cm de ancho, en el cual el lodo se trasladó hacia la cámara de irradiación, donde fue expuesto a la radiación gamma del Cobalto 60 el tiempo suficiente para que absorbiera la dosis de radiación requerida. Los tiempos de exposición (4 h 30 min 2 s), se consideraron en base a la actividad de la fuente radiactiva y fueron los adecuados para impartir al lodo residual una dosis promedio de 15 kGy, dosis mínima de 13.6 kGy, y dosis máxima de 16.0 kGy.

## EVALUACION DEL LODO RESIDUAL.

La evaluación de la calidad del lodo residual irradiado y sin irradiar como acondicionador de suelos, se realizó (por triplicado) en cultivos de avena utilizando macetas de 3 kg de capacidad. Cada uno de los cultivos, se realizó con diferentes proporciones de suelo franco arenoso (S), lodo residual irradiado (LI) y lodo residual no irradiado (LNI), de acuerdo con el siguiente cuadro.



A cada una de las macetas preparadas con las proporciones suelo-lodo descritas arriba, se les adicionó suficiente agua para posteriormente trasplantar en ellas, las plántulas correspondientes.

## TRASPLANTE DE PLANTULAS DE AVENA

Las semillas de avena fueron de calidad certificada y se germinaron mezclándolas en una capa uniforme de tierra de monte humedecida y colocándolas posteriormente en el invernadero. Cuando las semillas estuvieron al 90% de su germinación (de 5 a 10 días), se trasplantaron 3 plántulas en cada una de las macetas preparadas con anterioridad.

## ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

De la tabla 1, se observa que el contenido total de sólidos (3%) y la densidad aparente ( $1.0 \text{ g.mL}^{-1}$ ), caracterizan al lodo como un residuo líquido con propiedades físicas muy parecidas a las del agua y que por consiguiente puede manejarse de la misma manera en condiciones similares. El pH de 7.0 unidades, significa que se trata de un lodo casi neutro y que de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas NOM-CRP-001-ECOL/93, NOM-001-ECOL-1996 y NOM-002-ECOL-1996, no representa peligro alguno por corrosividad. Además, es importante mencionar que para la mayoría de los cultivos, se considera óptimo un pH en el intervalo de 6.5 a 7.5. El contenido de materia orgánica (34%) y carbono orgánico (23%) son adecuados para mejorar la textura, porosidad, y la retención del agua en suelos, evitando con ello en gran parte la lixiviación de nutrientes, favoreciendo además un mejor intercambio de nutrientes disponibles como es el caso del del Nitrógeno (0.6 ppm) y del Fósforo (1.1 ppm), considerados como nutrientes primarios.

Tabla No. 1 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos en suelo franco arenoso (S) y en lodo residual no irradiado (LNI) y lodo no irradiado (LI).

Parámetro	Suelo (S)			Lodo no irradiado (LNI)			Lodo irradiado (LI)		
	x	$\sigma$	I	x	$\sigma$	I	x	$\sigma$	I
$P_h$	7	0.005	6.7-6.8	7	0.02	7.0-7.2	7	0.03	7-7.2
Materia orgánica (%)	80	0.01	80-82	34	0.01	34-34	41	0.27	41-42
Carbono orgánico (%)	62	0.11	62-62	23	0.14	23-24	20	0.03	19-20
Nitrógeno total (ppm)	1.5	0.05	1.4-1.5	0.6	0.02	0.6-0.7	0.8	0.003	0.3-0.8
Fósforo (ppm)	0.01	0.001	0.01-0.01	1.1	0.004	1.1-1.1	1.1	0.008	1.1-1.1
Sólidos totales (%)	90	0.01	90-92	3	0.02	3-4	4	0.04	4-5
Cuenta total (nump x mL)	-	-	-	$35 \times 10^5$	49	3-131	75	4.5	2-0.3
Grasas y aceites (ppm)	6.5	0.06	6.5-6.6	27	0.07	26-28	18	0.02	18-19
Detergentes (ppm)	5.0	0.09	4.8-5.0	124	0.8	123-124	10	0.004	10-11
Fenoles (ppm)	0.15	0.01	0.1-0.2	10	0.15	10-11	5	0.01	4-5

Donde: x = Promedio de 3 determinaciones  
 I = Intervalo  
 $\sigma$  = Desviación estándar

El análisis microbiológico presentó concentraciones de 6 órdenes de magnitud en mesófilos aerobios (cuenta total); valores que suponen la presencia de microorganismos patógenos en concentraciones mayores a las sancionadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles (número más probable de coliformes fecales de 1000 y de 2000/100 mL, promedio mensual y diario respectivamente) en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. En la misma Tabla, se observa que las grasas y aceites (27.0 ppm), se encontraron por arriba de las concentraciones máximas permisibles (25 ppm) sancionadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996; mientras que los fenoles (10 ppm) se encuentran por debajo de las concentraciones sancionadas por la norma NOM-CRP-001-ECOL/93 (14 ppm).

En el caso de los detergentes, las normas mencionadas anteriormente no mencionan los valores máximos permisibles en aguas residuales y/o en otro tipo de residuo líquido, sin embargo, la NOM-CRP-001-ECOL/93, hace mención de que un residuo se considera peligroso si en su composición química se encuentran los detergentes.

De los resultados expresados, se observa que después de aplicar dosis de radiación gamma de 15 kGy, se remueven del lodo residual, en promedio: grasas y aceites (33%); detergentes (92%),

fenoles (50%) y más del 99% de la cuenta total de microorganismos. Es importante mencionar que los contaminantes considerados en éste estudio se encuentran en el lodo residual irradiado por debajo de las concentraciones máximas permisibles, sancionadas por las Normas Oficiales Mexicanas referidas.

Por otro lado, la diferencia poco significativa entre los análisis de los lodos irradiados y no irradiados en el contenido de carbono orgánico (3 %), materia orgánica (7 %), Nitrógeno (0.2 ppm) y Fósforo (sin cambio), son congruentes con los resultados obtenidos en estudios anteriores realizados por Moreno (1990) donde se menciona que la materia orgánica y los nutrientes no sufren cambios aparentes después de la irradiación, lo que permite concluir que el lodo irradiado continúa teniendo la calidad agronómica inicial, siendo apto para utilizarse como mejorador de suelos pobres en materia orgánica y en nutrientes.

### **EVALUACION DE LOS CULTIVOS DE AVENA.**

Como parámetro de evaluación cualitativa morfológica del cultivo de avena se consideraron las diferentes etapas de crecimiento durante 45 días.

De manera general, se puede decir que en los cultivos estudiados, la plúmbula se hace visible a los 5 días, las macollas (brotes) se empiezan a formar a los 10 días y terminan su formación a los 21 días. Las hojas se empiezan a formar a los 30 días para terminar de formarse a los 40 días, finalmente, los primeros nudos o encañes se presentan a los 45 días

En particular, durante las etapas de crecimiento, las diferencias más notorias se presentan entre los 15 y 20 días. En los experimentos; S/SLI (40/60%) y S/LI (40/60%) la formación de las macollas es más deficiente que en las macetas de referencia (preparadas únicamente con suelo), sin embargo, en los experimentos; S/LI (60/40%) Y S/LI (80/20%) el crecimiento de las macollas es ligeramente mayor al observado en las macetas de referencia.

Finalmente, en los cultivos con las proporciones; S/LNI (60/40%) Y S/LNI (80/20%) el crecimiento de las macollas es considerablemente mayor que en las macetas de referencia. Es importante hacer notar que hay mayor crecimiento de las macollas en el cultivo con S/LNI (60/40%). Sin embargo, se debe recordar que éste lodo (LNI) no ha sido tratado por ninguna metodología, por lo que en su composición se tiene todavía compuestos orgánicos tóxicos y flora microbiana patógena, elementos que hacen imposible aplicar el lodo en suelos de cultivo.

En base a lo anterior, se concluye que las proporciones de S/LI (60/40%) generan los mejores resultados para utilizar como acondicionador de suelos el lodo residual, ya que en este caso, la irradiación se ha encargado de remover compuestos orgánicos tóxicos, como son los fenoles, detergentes, grasas y aceites y eliminar la flora microbiana patógena.

En consideración a que la irradiación no elimina los metales, resulta importante aclarar que al aplicar el lodo residual como acondicionador de suelos, es necesario que la concentración de metales no sobrepase los límites máximos permisibles para el tipo de suelo y cultivo correspondiente.

### **CONCLUSIONES.**

La irradiación de muestras de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales, a dosis de radiación gamma de 15 kGy remueve del lodo, en promedio: grasas y aceites (33%); detergentes (92%), fenoles (50%) y más del 99% de la cuenta total de microorganismos.

El lodo irradiado a 15 kGy mezclado con suelo franco arenoso en proporciones de 40 y 60% respectivamente, se puede emplear como acondicionador de suelos en el cultivo de avena obteniendo resultados satisfactorios.

## BIBLIOGRAFIA.

- American Public Health Association American Water Works Association., Water Environment Federation. Total Solids Dried at 103-105°C Method 2540B; Extraction Method for Sludge Samples, Method 5520E; Phenols Chloroform Extraction Method, Method 5530C; Anionic Surfactants as MBAS, Method 5540C; Heterotrophic Plate Count, Method 9215A. Standard Methods for The Examination of Water and Waste Water, Edited by Arnold E. Greenberg, Lenore S. Clesceri and Andrew D. Eaton, 18 Th Edition (1992).
- Cajuste L. J., El Fósforo Aprovechable en los Suelos. En Análisis Químico para Evaluar la Fertilidad del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. (Aguilar S.A., Etchevers B.J. y Castellanos R.J.) Publicación Especial No.1, 139, (1987).
- Etchevers B. J., Determinación de Nitrógeno en Suelos. En Análisis Químico para Evaluar la Fertilidad del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. (Aguilar S.A., Etchevers B.J. y Castellanos R.J.) Publicación Especial No. 1, 68-69, (1987).
- Goyjberg G. y Aguilar A., Determinación del pH en Suelo y Necesidades de Cal. En Análisis Químico para Evaluar la Fertilidad del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. (Aguilar S.A., Etchevers B.J y Castellanos R.J.) Publicación Especial No. 1, 35-37, (1987).
- León R. y Aguilar A., Determinación del Contenido de Materia Orgánica y Carbono Orgánico. En Análisis Químico para Evaluar la Fertilidad del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. (Aguilar S.A., Etchevers B.J. y Castellanos R.J.) publicación Especial No. 1, 85-87, (1987).
- Moreno J., Martínez I., Colín C. y Vega J., Caracterización Parcial y Desinfección por Irradiación de Lodos Residuales. VII Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Oaxaca México. Memorias pp C-12 y C-13, del 19 al 21 de Septiembre de 1990.
- Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-001-ECOL/1993., Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de octubre de 1993.
- Norma Técnica Ecológica NOM-001-ECOL/1996., Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997.
- Norma Técnica Ecológica (Proyecto) NOM-002-ECOL/1996., Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 9 de enero de 1997.
- Rodríguez F. y Burguete F., Procedimiento para el Muestreo de Suelos. En Análisis Químico Para Evaluar la Fertilidad del Suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. (Aguilar S.A., Etchevers B.J. y Castellanos R.J.) Publicación Especial No.1. 2-13, (1987).
- Telliard W., Sampling Procedures and Protocols From The National Sewage Sludge Survey, (1988).